

Matti Tammela

## **Kulutusteräsvertailu Kevitsan kaivoksen prosessissa**

Insinöörityö  
Kajaanin ammattikorkeakoulu  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Kone- ja tuotantotekniikka  
Kevät 2014



Koulutusala Tekniikan- ja liikenteen ala	Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka
Tekijä(t) Matti Tammela	
Työn nimi Kulutusteräsvertailu Kevitsan kaivoksen prosessissa	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Kaivannaistekniikka ja kunnossapito	Toimeksiantaja Kevitsa Mining oy
Aika Kevät 2014	Sivumäärä ja liitteet 36+6
<p>Tämän insinöörityön toimeksiantaja on FQM Kevitsa Mining Oy. Työ tehtiin Kevitsan kunnossapito-osastolle. Kevitsan kaivos sijaitsee Lapissa, noin 35 km Sodankylästä koilliseen. Kevitsan kaivoksen päätuote on nikkeli. Toinen tärkeä tuote on kupari. Kevitsassa rikastetaan myös kultaa, palladiumia ja platinaa.</p> <p>Tässä työssä tutkittiin Kevitsan prosessissa erilaisten kulutuslevymateriaalien kulumista. Kaivosolosuhteissa kuluminen on runsasta ja aiheuttaa seisakkeja. Oikeilla materiaalivalinnoilla kulumista voidaan vähentää ja näin pidentää seisakkien välistä aikaa. Seisakkien aikana ei ole tuotantoa eli aika on pelkkää taloudellista menekkiä.</p> <p>Kuluminen on moniselitteinen tapahtuma ja harvoin löydetään vain yksi kuluttava tekijä. Tässä opinnäytetyössä perehdytään myös kulumisen teoriaan. Työssä käsitellään myös kulutuslevyterästen ominaisuuksia, historiaa sekä kulutusterästen mekaanisia muokkasmenetelmiä.</p> <p>Kulumista tutkittiin eri kohteissa kaivoksen prosessissa kenttätutkimuksena aikavälillä 22.1 – 27.3.2014.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	Kunnossapito, kulutuslevyteräs, kenttäkoe, kaivos
Säilytyspaikka	<input checked="" type="checkbox"/> Verkkokirjasto Theseus <input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School Kajaani University of Applied Sciences	Degree Programme Mechanical and Production Engineering
Author(s) Matti Tammela	
Title Wear plate test in Kevitsa mining process	
Optional Professional Studies Mining, Maintenance	Commissioned by FQM Kevitsa Mining Oy
Date Spring 2014	Total Number of Pages and Appendices 36+6
<p>This bachelor's thesis was commissioned by FQM Kevitsa Mining Oy and was carried out in co-operation with the Kevitsa maintenance department. Kevitsa mine is located in Lapland, Finland, about 35 km north-east from Sodankylä. Kevitsa produces mainly nickel and copper and its by-products are gold, palladium and platinum.</p> <p>The purpose of this thesis was to study the wear and tear of different kinds of wear plates in the Kevitsa process. Wearing in mining conditions is harsh and causes shutdowns. With the correct selection of materials, wearing can be reduced and the time between shutdowns extended. The time that the process is shut down causes pure financial losses.</p> <p>Wearing is very a complicated phenomenon and can rarely be explained by one cause. In this thesis the theory of wearing is explained. The common properties of wear plates are introduced along with the history and the mechanical treatments that are possible for wear plates.</p> <p>This study was conducted in different targets in the Kevitsa mining process as a field research during 22. January – 27. March 2014.</p>	
Language of Thesis      Finnish	
Keywords	Maintenance, wear plates, field survey, mining
Deposited at	<input checked="" type="checkbox"/> Electronic library Theseus <input checked="" type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 YRITYSESITTELY	2
2.1 FQM LTD	2
2.2 KEVITSA MINING OY	3
3 KULUMISEN TEORIA	4
3.1 Kulumistyytit	5
3.1.1 Adhesiivinen kuluminen	6
3.1.2 Abrasiivinen kuluminen	8
3.1.3 Tribokemiallinen kuluminen	9
3.1.4 Väsymiskuluminen	10
3.2 Kulumisen pienentäminen	12
3.3 Kulutusmateriaalin valinta	12
4 KULUTUSTERÄS	14
4.1 Historia	14
4.2 Ominaisuudet	14
4.3 Käyttökohteet	15
4.4 Muokkaus	15
4.4.1 Leikkaus	15
4.4.2 Hitsaus	16
4.4.3 Lastuaminen	17
4.4.4 Taivuttaminen	17
4.5 Panssarilevy	18
5 KULUMISEN TESTAUSMENETELMÄT	19
6 KULUMISEN TESTAUS PROSESSISSA	21
6.1 Testausmenetelmä	21
6.2 Testauskohteet	23
6.2.1 Pääseulan ylitteen purkusuppilo	24
6.2.2 1. Myllyn purkusuppilo	24
6.3 Kuluttavan malmin ominaisuudet	25

7 TUTKIMUSTULOKSET	26
7.1 1. Myllyn purkusuppilo	26
7.2 Pääseulan ylitteen purkusuppilo	27
8 JATKOTOIMENPITEET	28
9 YHTEENVETO	30
LÄHTEET	31
LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Tämän insinöörityön tilaaja on FQM Kevitsa Mining Oy. Työ on tehty Kevitsan kaivoksen kunnossapito-osastolle. Tässä insinöörityössä selvitetään kulutusterästen kestävyyttä Kevitsan prosessin kuluttavissa olosuhteissa. Tällä hetkellä prosessin eri vaiheissa kuluminen on runsasta, mikä aiheuttaa ylimääräisiä seisakkeja tuotannossa. Tuotannon seisauttaminen on suoraa taloudellista tappiota ja tuotannon ylösajaminen uudelleen aiheuttaa rasituspiikin tuotantojärjestelmälle. Kulutuslevymateriaalin oikealla valinnalla voidaan pidentää seisakkien väliä ja tutkimustulosten perusteella tiedetään myös tarkemmin, kuinka paljon kulumista tapahtuu. Työssä tutustutaan myös kulumisen teoriaan sekä kulutusterästen muokkausmenetelmiin. Työssä ei paneuduta taloudellisten hyötyjen laskemiseen. Työhön osallistui myös useita yrityksiä kulutusterästen alalta.

## 2 YRITYSESIITTELY

### 2.1 FQMLTD

First Quantum Minerals Ltd on nopeasti kasvava kanadalainen kaivosyhtiö, jonka päätoiminnot ovat malmien etsintä, kaivoshankkeiden kehittäminen ja kaivostoiminta. Tällä hetkellä yhtiöllä on seitsemän kaivosta tuotannossa Afrikassa, Australiassa ja Euroopassa. Keskeneräisiä kaivoshankkeita on Afrikassa sekä Etelä- ja Väli-Amerikassa. Liikevaihto oli vuonna 2012 2700 miljoonaa dollaria. Yhtiö osti Inmet Mining Corporationin keväällä 2013. Kaupan mukana tuli muun muassa Pyhäsalmen kaivos Suomessa. Kuvan 1. kartassa esitetty FQM Ltd kaivokset. [1.]

**1. Kansanshi: Zambia**

30 Mt, Cu 260 kt, Au 136 koz  
Toiminta-aika: 17 v  
Työntekijöitä: 1700

**2. Guelb Moghreïn : Mauritania**

3.6 Mt, Cu 38 kt, Au 60 koz  
Toiminta-aika: 9 v  
Työntekijöitä: 1500

**3. Ravenstorp : Australia**

2.8 Mt, Ni 30 kt  
Toiminta-aika: 30+ v  
Työntekijöitä: 445

**4. Kevitsa: Suomi**

3.1 Mt, Ni 4 kt, Cu 8 kt  
Toiminta-aika: 29 v  
Työntekijöitä: 330

**5. Cayeli: Turkki**

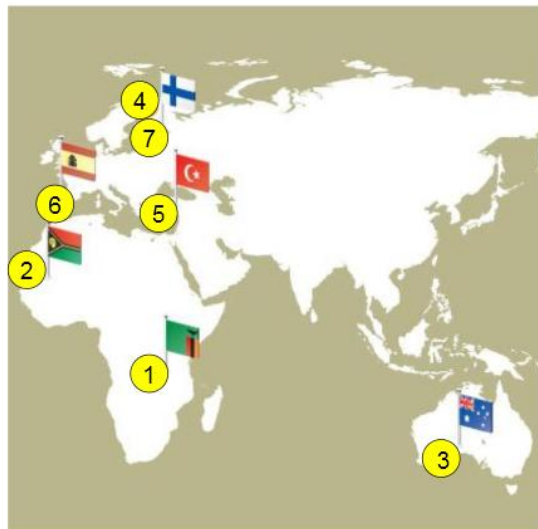
1.2 Mt, Cu 31 kt, Zn 41 kt  
Toiminta-aika: 6 v  
Työntekijöitä: 506 + 188

**6. Las Cruces: Espanja**

1.1 Mt, Cu 67 kt  
Toiminta-aika: 9 v  
Työntekijöitä: 246 + 867

**7. Pyhäsalmi: Suomi**

1.4 Mt, Cu 13 kt, Zn 26 kt  
Toiminta-aika: 6 v  
Työntekijöitä: 233 + 65



**FQM Kevitsa Mining**

Kuva 1. FQM Ltd. Kaivokset maailmalla.

## 2.2 KEVITSA MINING OY

Geologian tutkimus keskus löysi Kevitsan esiintymän vuonna 1987. Outokumpu Mining Oy omisti oikeudet esiintymään vuosina 1995 - 1998, minkä jälkeen Scandinavian Gold Prospecting Ab (myöhemmin Scandinavian Minerals Ltd) valtasi alueen vuonna 2000. Myöhemmin yhtiö perusti tytäryhtiön Kevitsa Mining Oy vuonna 2006 ja aloitti lupien haun ja työt kaivostoiminnan käynnistämiseksi. FQM ltd osti Scandinavian Mineralsin vuonna 2008 ja päätti aloittaa kaivoksen rakentamisen vuonna 2009. Tuotanto Kevitsassa alkoi keväällä 2012.

Kevitsan kaivoksella hyödynnetään 35 km Sodankylästä koilliseen sijaitsevaa monimetalliesiintymää. Kaivosalueen laajuus noin 8 km<sup>2</sup>. Esiintymä on suhteellisen suuri, mutta matalapitoinen Fe-Ni-Cu-sulfidinen pirotemalmi. Mineraalivarannot yltävät 300 m syvyyteen asti. Alin hyödynnettävä malmin nikkelpitoisuus on 0,18 %, jota on 70 miljoonaa tonnia. Mahdollisia malmivarantoja on lisäksi 16 miljoonaa tonnia. Kevitsan avolouhoksella louhitaan vuosittain noin 5 - 7 miljoonaa tonnia malmia. Rikastamolla tuotetaan nikkeli-platina- sekä kupari-kultarikastetta. Nikkelirikastetta n. 85 000 tonnia/v ja kuparirikastetta 70 000 t/v. Rikaste sisältää noin 10 000 t nikkeliä ja 20 000 t kuparia. Rikaste kuljetetaan rekoilla Oulun ja Kemin satamiin. Kuvassa 2 näkyy Kevitsan kaivosalue. [1.]



Kuva 2. Kaivosalue.[1]



### 3 KULUMISEN TEORIA

Kuluminen tapahtuu kahden tai useamman kappaleen ollessa vuorovaikutuksessa toisiinsa. Kappaleiden pintojen liikkuesssa toisiaan vasten kulumisen voidaan havaita materiaalihäviönä kappaleiden pinnassa. Kulumista ei ole pystytty vielä määrittämään matemaattisesti, sillä kulumiseen vaikuttavia parametreja on useita ja niiden yhtäaikainen käsittely on hankalaa. Kulumisen tutkinnassa ollaankin pääasiassa empiirisen tiedon varassa, sillä kaikki kulumisen on erilaista.

Kulumisen on yleensä haitallinen ilmiö, mutta esimerkiksi laakereissa ja hammaspyörissä ns. sisäänajokulumisen tasoittaa pinnankarheudet ja luo näin paremmat toimintaolosuhteet. Kuluttamista voidaan käyttää myös työstömekanismina. Esimerkiksi hiekkapuhallus, kipinätyöstö ja hiontatyöstö perustuvat materiaalin poistamiseen kappaleiden pinnasta.

Kulumisen on materiaalihäviötä ja näin myös taloudellisesti huomioitava tekijä. Kaikki kulutusta ehkäisevä tai poistava työ tuo taloudellista säästöä. Britanniassa vuonna 1988 tehdyn tutkimuksen mukaan pelkästään valtio menettää vuosittain kulumisen vuoksi n. 2 miljardia puntaa vuodessa. Tämän vuoksi kulumista tutkitaan jatkuvasti. [2.]

### 3.1 Kulumistyytit

Kuluminen luokitellaan eri mekanismeihin, mutta yksittäisessä kulumistapahtumassa pyritään löytämään yksi hallitseva tekijä. Liitteessä 1 on kaavio kulutuskäyttöikään vaikuttavista tekijöistä. Kuluminen voidaan jakaa kahdella tavalla:

1. Suhteellisen liikkeen perusteella tai
2. Mekanismin perusteella.

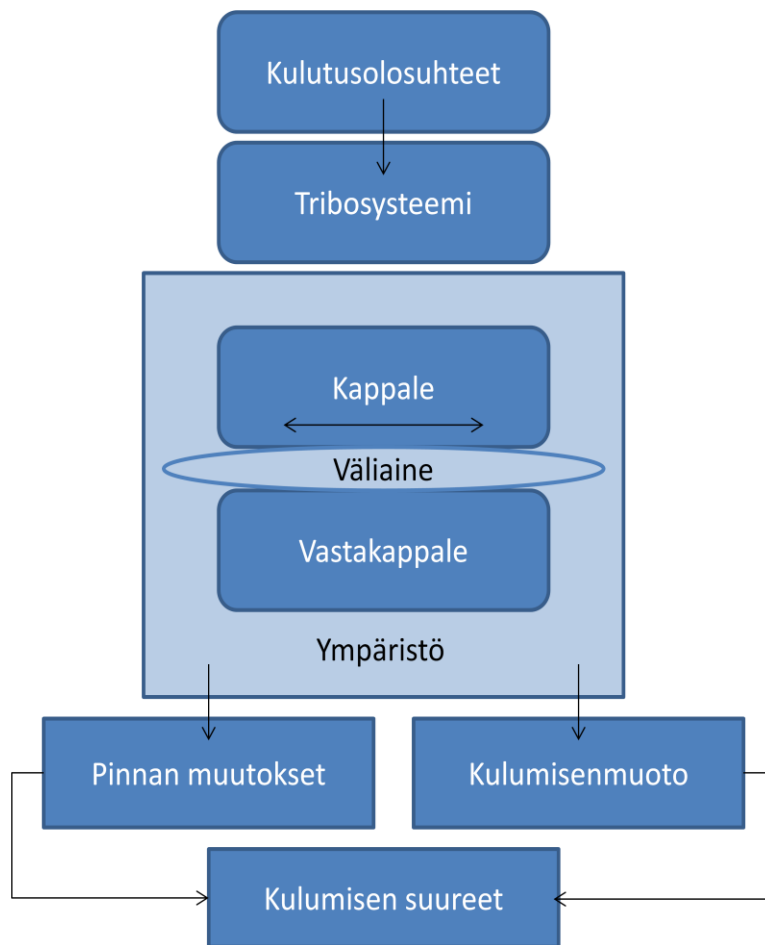
Liikkeen perusteella tapahtuva kuluminen voidaan vielä erotella erityyppisiin tilanteisiin:

- liukuminen
- vierintä
- iskukuormitus
- värähtely
- nestevirtaus
- nestevirtaus, jossa kiinteitä partikkeleita.

Kulumismekanismi jaetaan standardin DIN 50320 mukaan seuraavasti:

- tartunta- eli adhesiivinen kuluminen
- hionta- eli abrasiivinen kuluminen
- väsymiskuluminen
- tribokemiallinen kuluminen.

Kuvassa 3 on esitetty kulumisen osatekijät kaaviossa.



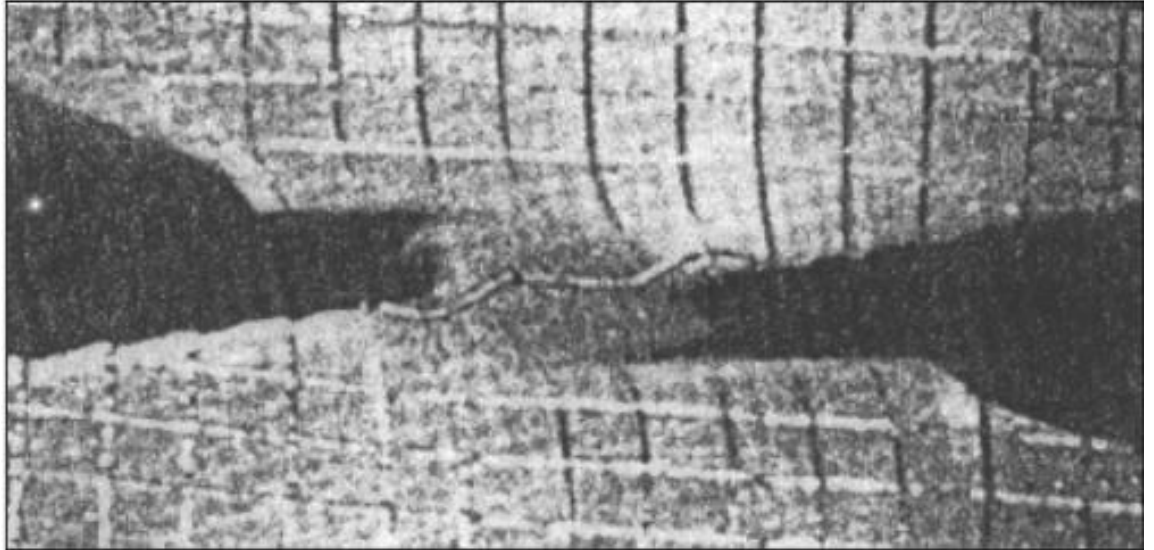
Kuva 3. Kulumisen osatekijät [2]

### 3.1.1 Adhesiivinen kuluminen

Adhesiivisesta kulumisesta käytetään myös nimityksiä kylmähitsautuminen tai tartuntakuluminen. Englannin kielessä käytetään termejä kuten scoring, scuffing, seizing ja galling. Noin 15 % kulumisesta arvioidaan olevan adhesiivista.[3]

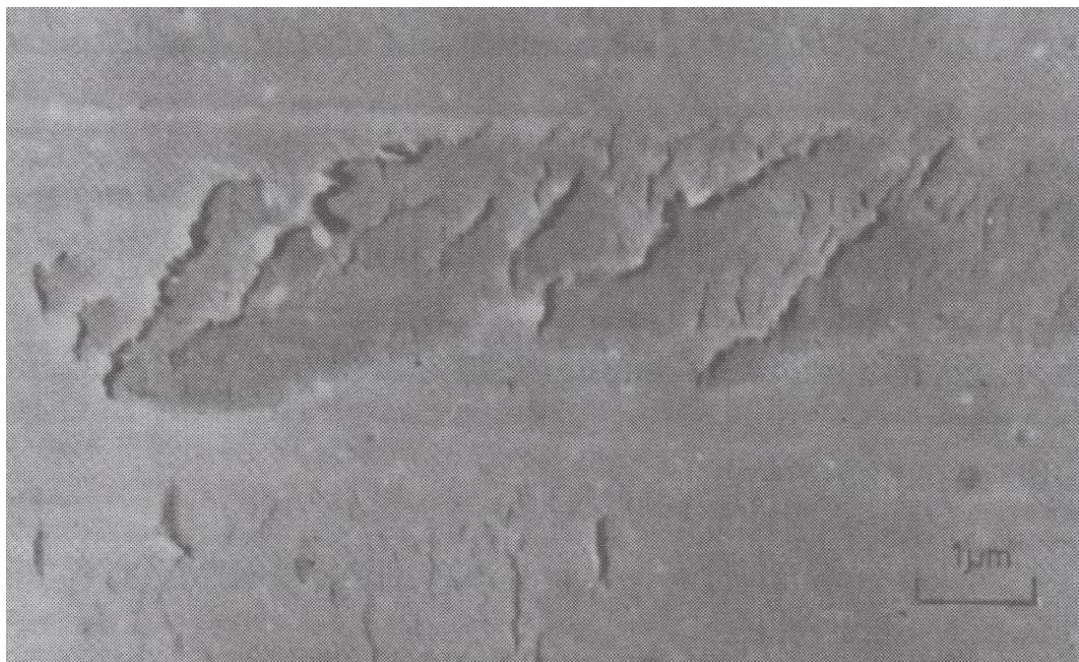
Adhesiivista kulumista tapahtuu, kun pinnankarheuden ulokkeet leikkautuvat. Kahden pinnan liukuessa toisiaan vasten kitkalämmön vaikutuksesta voi tapahtua hitsautumista. Hitsautuneen liitoksen repeytymiskohta määrittää kulumisen laajuuden. Mikäli liitos repeytyy alkuperäisten pintojen rajapinnasta, ei varsinaista kulumista tapahdu, mutta jos repeytyminen tapahtuu muualta, irtaantuu materiaalia pinnalta toiselle ja lopulta muodostuu irtonaisia

partikkeleita. Irtonaiset partikkelit alkavat vaikuttamaan kulumistapahtumaan abrasiiivisesti. Adhesiivinen kuluminen onkin monesti kulumistapahtuman alkuunpanija eikä esiinny puhtaasti yksin pitkiä aikoja. Kuvassa 4 on tapahtunut rajapintojen adhesiivinen liitos.



Kuva 4. Adhesiivinen liitos [3]

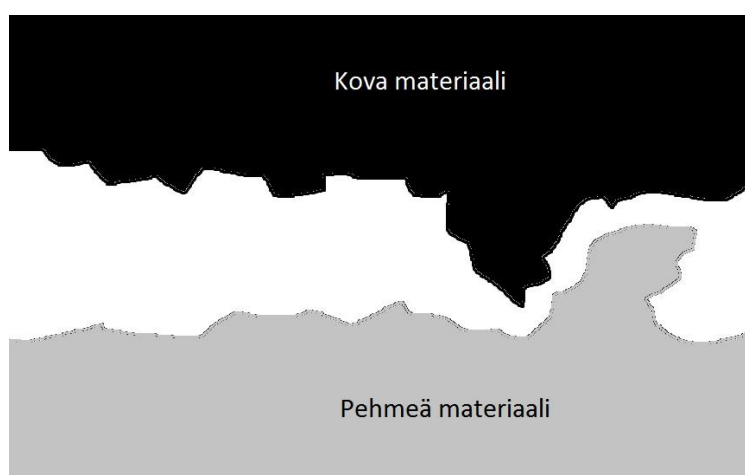
Adhesiivisesti kuluneen pinnan tuntomerkkejä ovat hioutuneet, muokkautuneet alueet, kuopat ja kohoumat sekä irtonaiset partikkelit. Kuvassa 5 näkyy muokkautunut alue rajapinnassa



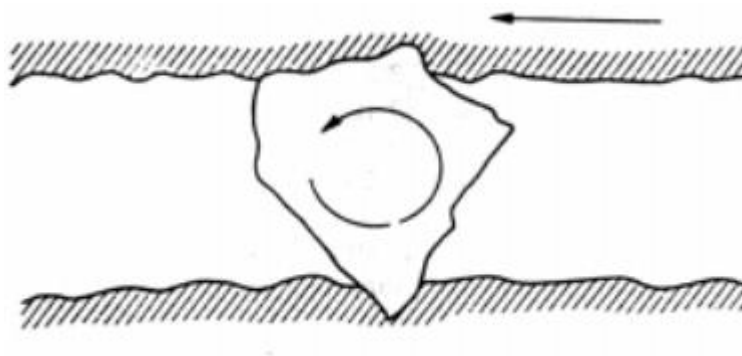
Kuva 5. Adhesiivisesti tarttunutta materiaalia kappaleen pinnassa. [2]

### 3.1.2 Abrasiivinen kuluminen

Kovemman pinnan liukuessa pehmeämmän pinnan kanssa vastakkain pinnankarheuden huiput uurtavat normaalivoiman vaikutuksesta pehmeämpään materiaaliin uurteita. Tätä kutsutaan abrasiiviseksi kulumiseksi eli hiontakulumiseksi. Noin 50 % kulumisesta on abrasiivista. Mikäli kappaleiden välissä on irtopartikkeli, se usein muokkauslujittuu kovemmaksi ja sen jälkeen puhutaan kolmen kappaleen abraasiosta. Kolmen kappaleen abraasiossa kulumista voi tapahtua vain toisessa kulumista pinnoista tai molemmissa. Monesti abrasiivinen kuluminen alkaa kahden pinnan välisestä kulumisesta, mutta muuttuu kolmen kappaleen abraasioksi partikkelin irrotessa jommastakummasta pinnasta. Kuvassa 6 on esitetty abraasio kulumistapahtuman periaate. Kuvassa 7 on esitetty kolmen kappaleen abraasiotapahtuma. [3.]



Kuva 6. Kahden kappaleen abraasio.



Kuva 7. Kolmen kappaleen abraasio [3]

Abrasiviista kulumista tapahtuu seuraavilla tavoilla:

1. kyntämällä
2. leikkaamalla
3. hauraasti murtumalla.

Kyntämällä tapahtuvassa abraasiossa suurin osa plastisoituneesta materiaalista aurautuu syntyneen uran reunoille. Kuluttavan pinnan terävyys ja ulokkeiden jyrkkyys vaikuttavat siihen onko kyseessä kyntäminen vai leikkautuminen. Mikäli ulokkeet ovat hyvin jyrkkiä leikkautuminen on voimakasta, ja jos pieniä, kyntäminen on todennäköisempää.

Haurasta murtumista tapahtuu, kun kuluvaan pintaan kohdistuu iskuja ja kuluva pinta on haurasta ja jäykkää. Paikalliset jännityshuiput ovat niin suuria, ettei kuluvan pinnan suuri kovuus pysty enää estämään murtumista.

Abrasiivista kulumista voidaan määritellä myös vertaamalla materiaaliparien kovuuksien suhdetta  $H_m/H_a$ .  $H_a$  on abrasiivisen pinnan kovuus ja  $H_m$  metallin kovuus täysin muokkauslujittuneena. Kun suhde on alle 0,8, on kyseessä voimakas abraasiokuluminen ja kulumisnopeus suuri. Kun metalli on kovempi ja abrasiivinen pinta pehmeämpi, suhdeluku ylittää 0,8 ja tällöin kyseessä on lievä abraasiokuluminen. Kulumisnopeus on hitaampaa. [2.]

### 3.1.3 Tribokemiallinen kuluminen

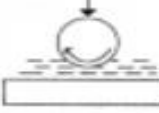


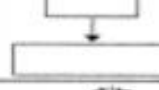
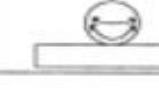




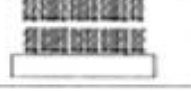

Metallien pinnalla on normaalisti oksidikerros, joka pienentää kulumista ja kitkaa. Kulutuspinnojen pinnankarheushuippujen vastatessa toisiinsa syntyy lämpöenergiaa. Koska kyseessä on kemiallinen reaktio, metallipintojen oksidikerroksen paksuus kasvaa lämpöenergian mukaan. Tribokemiallinen kuluminen tapahtuu pääasiassa oksidoituneen kerroksen kulumisena metallin pinnalta. Hapettunut kerros metallin pinnalla on kohtuullisen hauras ja murruttuaan paljastaa puhdasta metallipintaa, joka hapettuu jälleen nopeasti muodostaen uuden oksidikerroksen. [2.][4.]

### 3.1.4 Väsymiskuluminen

Väsymiskulumistapauksissa ei suoraan synny kulumispartikkeleita vaan niiden synty vaatii pitkäaikaisempaa tykyttävää tai voimaltaan vaihtelevaa räsytystä. Kun kappaleen pinnan ulokkeet deformatuvat plastisesti tarpeeksi monta kertaa, tapahtuu väsymismurtuma ja syntyy kulumispartikkeli. Mikäli kuluminen ei ole selvästi adhesiivista tai abrassiivista, voidaan kulumistapahtumaa pitää kappaleen pintakerroksen väsymiskulumisena. Väsymismurtuman synnyttyä kuluminen jatkuu kiihtyvällä nopeudella pinnanlaadun huononemisen johdosta. [2.]

Taulukossa 1 on havainnollistettu kulumista rasitustyyppin ja mekanismin avulla.

Taulukko 1. Kuluminen rasituksen ja kulumismekanismin mukaan.[2]

Systeemin rakenne	Kulumisen aiheuttava rasitustyyppi	Kulumistyyppi	Kulumismekanismi			
			Adheesio	Abrasio	Pinnan väsyminen	Tribo-kemiallinen
Kiinteiden pintojen välissä voiteluaine	Liukuminen Vierintä Isku Sysäykset 				X	X
Kiinteät pinnat toisiaan vasten	Liukuminen 	Liukumiskuluminen	X	X	X	X
	Vierintä 	Vierintäkuluminen	X	X	X	X
	Iskukuormitus 	Iskukuluminen	X	X	X	X
	Värähtely 	Värähtelykuluminen	X	X	X	X
Kiinteät pinnat ja kulumispartikkeli	Hionta 			X		
Kiinteät pinnat ja partikkelit	Partikkeli-suihku 	Erosio		X	X	X
Kiinteä pinta ja kaasu	Virtaus 	Kaasu-erosio				X
Kiinteä pinta ja neste	Virtaus Värähtely 	Kavitaatio			X	X
	Virtaus Isku 	Pisara-erosio			X	X
Kiinteä pinta ja nesteessä kuluttavia partikkeleita	Virtaus 	Erosio		X	X	
		Korroosio-erosio		X	X	X



### 3.2 Kulumisen pienentäminen

Kaikki mitä voidaan tehdä kappaleiden välisen kitkan pienentämiseksi, vähentää myös kulumista. Normaalivoiman pienentäminen pienentää myös kitkavoimaa. Jos kitkavoima on suuri, säröt kappaleessa etenevät nopeasti ja säröjen syvyys myös kasvaa. Tämän johdosta myös kappaleesta irtoavat kulumishiukkaset ovat suurempia.

Suuret normaali- ja kitkavoimat aiheuttavat säröjen ydintymistä kappaleessa. Mikäli kappaleen materiaali on mahdollisimman kova, ehkäisee se plastisia muodonmuutoksia. On myös mahdollista pinnoittaa kappale ohuella ja pehmeällä pinnoitteella. Pehmeä pinnoite ehkäisee muodonmuutokset varsinaisen kappaleen pinnassa ja on silti tarpeeksi ohut, ettei muodosta juuri kulumispartikkeleita. Kulumisen voidaan saada 1/1000- osaan pinnoittamattoman pinnan kulumiseen verrattuna.

Kaivosolosuhteissa kulumista voidaan vähentää käyttämällä autogeenistä vuorausta suppiloissa. Autogeenisestä vuorauksesta käytetään myös nimeä multahylly. Periaatteena on, että itse prosessissa käsiteltävä materiaali muodostaa kulutusta kestävä patjan, johon materiaalivirta iskeytyy ja estää näin itse rakenteen kulumisen. Autogeenivuoraus ei ole mahdollinen kaikissa kohteissa, koska se vaatii tilaa.[2.]

### 3.3 Kulutusmateriaalin valinta

Kulutusmateriaalia valittaessa tulee huomioida materiaalivirran kohtauskulma kuluvaan kohteeseen. Taulukossa 2 on esitetty kohtauskulma ja suositeltu kulutusmateriaali. Kulutuskumin tai uretaanipinnoitteen valinta riippuu:

- Materiaalin pudotuskorkeudesta.
- Materiaalin kappalekoosta.
- Materiaalin kiteiden terävyydestä ja rakenteesta.
- Materiaalin pudotuskulmasta.

Oikein valittu kulutuskumi on monesti pitkäikäinen. Kumilla on seuraavia etuja verrattuna teräkseen:

- Helppo asennus.
- Kulutuskesto hyvä.
- Ylläpitokustannukset pienet.
- Alhaisempi melutaso verrattuna teräkseen.

Kulutuskumin huono puoli on, ettei se yleensä ole korjattavissa esimerkiksi hitsaten, kuten teräs. Usein kulunut kumiosa joudutaan korvaamaan uudella materiaalilla

Taulukko 2. Kohtauskulma ja materiaali [5]

Kulma asteissa	Materiaali
0 - 5	kumi parempi kuin teräs
5 - 30	teräs tai kumi riippuen kohteesta
30 - 50	teräs parempi kuin kumi
50 - 70	teräs tai kumi riippuen kohteesta
70 - 90	kumi parempi kuin teräs

## 4 KULUTUSTERÄS

### 4.1 Historia

Kulutusterästen ominaisuudet perustuivat alun perin runsaaseen seostukseen ja kulutusosat valmistettiin valamalla. Seostaminen ja valaminen on kallista, joten etsittiin halvempia vaihtoehtoja kulutusterästen valmistukseen. Ennen sotia oli jo keksitty boorin parantava vaikutus teräksen karkenevuuteen pienillä pitoisuuksilla, mutta tuolloin kaasujen ja kuonien hallinta oli vielä sulametallurgiassa ongelmallista. Analyysi- ja prosessimenetelmien kehityttyä tuli booriterästen valmistaminen mahdolliseksi.

Suomessa Rautaruukki aloitti karkaistujen kulutusterästen valmistuksen 1980-luvun alussa. Ensimmäiset tuotteet oli lapioihin ja auran siipiin. Yhteistyössä muiden teräsvalmistajien kanssa kulutusteräslevyjen vahvuus nousi 40 - 50 mm asti. 80-luvun puolivälissä kehitettiin jo 500-kovuusluokan teräslaatu.

Uusien tuotantomenetelmien avulla saavutettiin matalalla hiilipitoisuudella ja vähäisillä lisäseosaineilla suhteellisen suuri kovuus, karkenevuus ja kulumisenkesto. Uudet tuotteet säästivät kuluttajilta rahaa aikaisempiin ratkaisuihin nähden.[3.]

### 4.2 Ominaisuudet

Valmiiksi karkaistuna toimitettua booriterästä kutsutaan kulutusteräkkeksi. Se on lujaa ja kovaa mutta siitä huolimatta hyvin hitsattavaa, ja sitä voidaan myös muovata. Kulutusteräksen koneistus vaatii järeitä koneita ja hyvää ammattitaitoa. Kulutusterästuotteille tehdään Brinell- kovuuskoe, HBW, standardin EN ISO 6506-1 mukaisesti. Kovuus mitataan 0,5 - 2 mm levyn pinnan alle jyritystä tasosta. Kulutusteräksen suuri lujuus ja kovuus saadaan aikaan karkaisemalla teräs austeniittialueella 900 - 950 °C. Ennen karkaisua kulutusteräksen ominaisuudet ovat lähellä tavallisen S355- teräksen ominaisuuksia, vain lujuus ja kovuus ovat vähän suurempia kuin tavallisella teräksellä. Sitkeys on vähän heikompaa johtuen seostuksesta. Karkaisun jälkeen lujuus ja kovuus kaksinkertaistuvat. Kokeellisesti on osoitettu, että 400- ja 500-kovuusluokkien kulutusterästen kestävyys verrattaessa perinteiseen S355- teräkseen voi olla jopa kaksinkertainen.[3.]

### 4.3 Käyttökohteet

Kulutusteräksiä käytetään kohteissa, joissa normaalin rakenneteräksen ominaisuudet eivät riitä. Tällaisia kohteita ovat tyypillisesti kaivinkoneiden kauhat, huulilevyt, lanojen terät, syöttimet ja suppilot, kaivoskoneiden kulutusosat ja luodinkestävät rakenteet. Yleisesti käytetään nimensä mukaisissa kohteissa. Käyttökohteita löytyy koko ajan, ja niitä voi löytää lähes mistä tahansa. Kaivosteollisuudessa käyttökohteita löytyy useita ja kulutusterästen käyttö on yleistä.[5.]

### 4.4 Muokkaus

Kulutusteräksiä toimitetaan valmistajan antamissa mitoissa ja myös asiakkaan tilaamilla arvoilla. Monesti käyttökohteet kuitenkin ovat erilaisia ja ennalta-arvaamattomia, jolloin joudutaan muokkaamaan levyjä omiin tarpeisiin sopiviksi.

#### 4.4.1 Leikkaus

Kulutusterästen kaasuleikkauksessa polttoleikkauspinta karkenee 1-3 mm syvyyteen ja päästyy. Kaasuleikkauspinnalta johtuvan lämmön vaikutuksesta pinnan alainen kerros pehmenee.

Kaasuleikkaukseen pätevät monilta osin samat säännöt kuin hitsaukseen.

Yleisiä suosituksia:

- Levyä ei saa ottaa suoraan kylmästä leikkaustyöhön.
- Yli 40 mm levyt esilämmitettävä ennen leikkausta.
- Yli 45 asteen viisteiden tekeminen vaatii jossain tapauksissa kontrolloidun jäähdytyksen.
- Railon hiiltynyt pinta täytyy poistaa hiomalla.

- Mahdollista lastuamistyötä varten karennut pinta ja terävät särmät täytyy poistaa. [4][6][8]

#### 4.4.2 Hitsaus

Kulutusterästen hitsaaminen onnistuu perinteisillä menetelmillä, mutta vaatii huolellisuutta.

Huomioitavia asioita:

- Käytetään seostamattomia lisäaineita.
- Pinta hitsataan tarvittaessa seostetummalla lisäaineella.
- Hitsausenergia on 1,5 - 3,0 kJ/mm.
- Käytetään kuivia puikkoja.
- Hitsausjärjestys on keskeltä reunoille.
- Alle 40 mm yhdistetty levynpaksuus ei tarvitse esilämmitystä huoneenlämmössä.
- Yli 40 mm esilämmitys on vähintään 100 °C, suositus 150 - 200 °C.
- Hitsataan yhtäjaksoisesti, jottei levy jäähdy.
- Jäähdytys hidastettava.
- Hitsin kulmat ja reunat on syytä hioa. [4][6][8]

#### 4.4.3 Lastuaminen

Kulutusteräksen lastuamisesta on seuraavia yleisiä ohjeita:

- Työstökoneen tulee olla tukeva.
- Työstökappaleen kiinnitys on oltava huolellinen ja läheltä työstettävää kohdetta.
- Ei saa käyttää pitkiä karoja.
- Lastuamistyössä ei saa esiintyä värähtelyjä.
- Työn aloituksessa on oltava varovainen.
- On käytettävä riittävän suurta syöttöä sekä lastuamissyvyyttä.
- On käytettävä runsaasti lastuamisnestettä.
- Terien on valinnassa huomioitava valmistajan suositukset.
- Leikkaussärmät on poistettava hiomalla.
- Jyrsittäessä ohjeet ovat samankaltaiset. Ensimmäisen lastun tulee olla niin paksu, ettei terä laahaa hilseistä, karkaistua työkappaleen pintaa. [4][6][8]

#### 4.4.4 Taivuttaminen

- Yleisesti on käytettävä mahdollisimman suuria taivutussäteitä. Mahdolliset naarmut ja lovet taivutuspinnassa on hiottava pois, sillä ne aiheuttavat murtumariskin. Termisen tai mekaanisen työstön särmät on poistettava myös taivutettavan pinnan osalta. Taivutus on tehtävä suoraan haluttuun mittaan, eikä takaisinjoustoja voi tapahtua. Esilämmitys ja taivutuslestien voitelu pienentää kitkaa ja näin vähentää tarvittavaa voimaa ja pienentää murtumisriskiä. [4.][6.][8.]

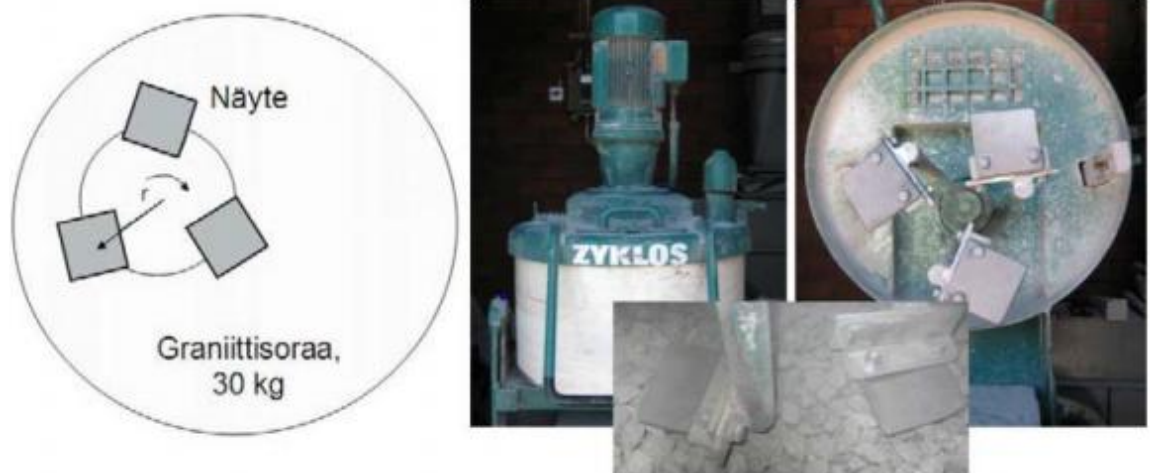
#### 4.5 Panssarilevy

Panssarilevyä käytetään normaalin kulutusteräksen rinnalla. Panssarilevyt valmistetaan perusteräksestä, jonka päälle hitsataan kovapinnoite. Kulutuslevyihin verrattuna panssarilevyt ovat vielä kovempia ja takaavat näin pitemmän käyttöiän. Perusmateriaali panssarilevyihin valitaan käyttökohteen olosuhteiden mukaan. Lujuudellisia vaatimuksia määritettäessä tulee ottaa huomioon, että perus materiaali määrittää panssarilevyn sitkeyden. Lisäksi tulee huomioida perusmateriaalin ja kovapinnoitteen seostuminen kovapinnoitehitsauksen aikana. Seostumisvyöhyke yleensä noin 2 mm peruslevyn paksuudesta. Lujuudellisia vaatimuksia määritettäessä tulee seostumisalue lisätä perusmateriaalin vahvuuteen. Yleisin perusmateriaali on normaali rakenneteräs, joilla on parhaat jatkokäsittelyominaisuudet. Käyttölämpötilan noustessa suositellaan Cr-Ni-teräksien käyttöä, ja voimakkaan kuormituksen alaisissa kohteissa kannattaa valita hienoraeteräs. Panssarilevyn kovapinnoitteita on monenlaisia, ja pinnoite tulee valita käyttökohteen mukaan.[9.]

## 5 KULUMISEN TESTAUSMENETELMÄT

Kulumisen ei ole yksiselitteinen ilmiö, joten kulumista ei voida mitata yhdellä testillä luotettavasti. Tästä johtuen on kehitetty erilaisia kulumustestejä moninaisiin olosuhteisiin. Materiaalin kulumista voidaan todentaa kenttä- ja laboratoriomenetelmillä. Kenttätetit antavat todellisen kuvan halutusta kulumistilanteesta, mutta ovat aikaa vieviä, kalliita sekä vaativat tarkkaa kontrollointia. Laboratoriokokeet ovat paljon halvempia ja nopeampia, mutta eivät monesti vastaa todellista tilannetta tarpeeksi tarkasti.

Laboratoriotestejä on standardisoitu eri ympäristöihin esimerkiksi ASTM G65, G105 ja B611. Kuvassa 8 näkyy Rautaruukin testilaboratorion Zyklos-sekoitin. Näytteet kiinnitetään laitteen akselin päissä oleviin näytepitimiin ja näyterumpu täytetään graniittisoralla. Graniittisora on suurilta osin samaa materiaalia kuin kaivosteollisuudessa yleensä.



Kuva 8. Ruukin testilaboratorion kulumustestauslaite

Tampereen Wear Centerissä laboriotesteissä käytetään murskaavaa Pin-On-Disk koetta. Kokeessa näytettä painetaan vasten pyörivää kuppia, joka on täytetty abrassiivilla. Näyte painetaan halutuksi ajaksi vasten abrassiivia ja nostetaan välillä ylös, jotta kupissa oleva kuluttava materiaali vaihtuu näytteen alla. Tampereen abraasiokoe on kuvassa 9.





Kuva 9. Tampereen Wear Centerin abraasiokoe.[11]

Raahen Seudun Teknologiakeskus Oy:n tiloissa on ASTM-standardin mukainen laboratoriolaitteisto, jossa pyörivät rullat siirtävät abrassiivisia rullia vasten näytekappaletta. Kuvassa 10 näkyy kulutustestauslaitteisto sekä kulunut näytekappale. [8][11]



Kuva 10. RST Oy:n kulutustestauslaitteisto [11]

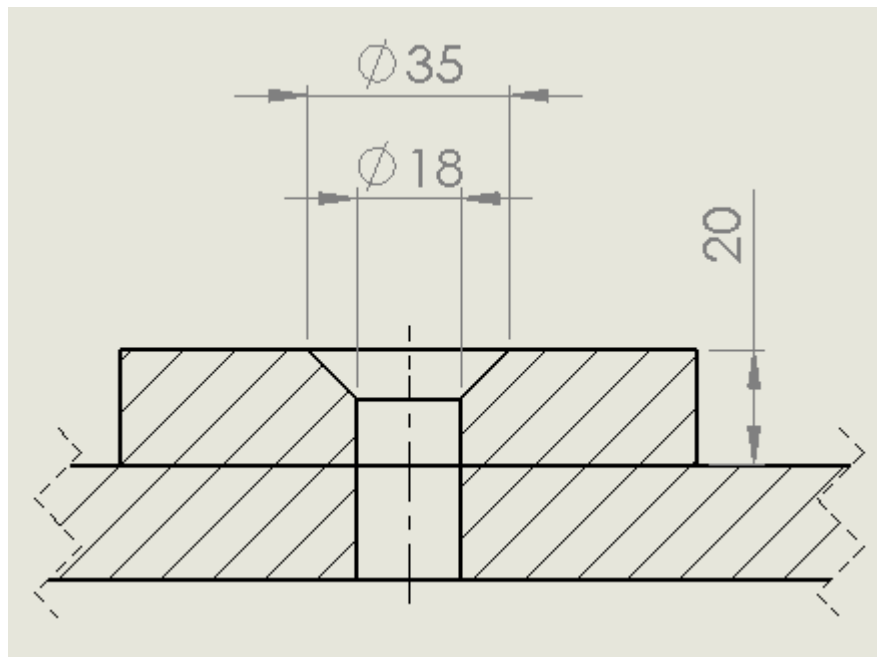
## 6 KULUMISEN TESTAUS PROSESSISSA

### 6.1 Testausmenetelmä

Tutkimuksen tarkoituksena oli suorittaa kenttäkokeita Kevitsan kaivoksen prosessissa. Tutkimuksen ideana on tutkia eri valmistajien kulutusteräslevyjen käyttäytymistä todellisessa käyttötilanteessa.

Levyjen testausta varten materiaalitoimittajilta pyydettiin koelevyjä. Koelevyn mitoiksi sovittiin 100x100x20 mm. Koelevy on kuvan 11 mukainen ja kiinnitys tapahtui M16-senkkakantapultilla levyn keskeltä. Koelevyn kulumisesta johtuen levyjen massa pienenee kokeen aikana. Kulumisen määrän todentamiseksi valittiin tarkasteltavaksi määreeksi massa ajan suhteen. Myllyn purkusuppilon testauskohteessa pystyttiin myös määrittelemään kulumisen mikrogrammoina ajettua tonnia kohden, sillä myllyn syötön tonnit voidaan nähdä prosessinajoparametreista.

Koelevyt punnittiin 0,1 g tarkkuudella, ja paksuus mitattiin millimetrin tarkkuudella ennen asennusta.



Kuva 11. Levyn kiinnitys.



Kuva 12. Erään valmistajan koekulutuslevy.

Levyt kiinnitettiin kohteissa varsinaisten vuorauslevyjen päälle samasta reiästä kuin vuorauslevyt. Kuvassa 13 on koekulutuslevyt myllyn purkusuppilossa. Kohteisiin asennettiin kaksi koelevyä toimittajaa kohden, jolloin saatiin kokeelle lisää luotettavuutta. Kohteessa kuluttava materiaalivirta voi olla hieman erilainen eripuolilla joten oli hyvä saada samanlaista levyä erikohtiin.



Kuva 13. Testilevyt 1. myllyn purkusuppilossa.

Kokeen aikataulu riippui täysin kaivoksen seisokkiaikataulusta. Levyjen kulumisen tarkkailu säännöllisesti ei ollut mahdollista. Levyjen paikkoja vaihdettiin kerran, jotta koetulokset olisivat tasapuoleiset. Samalla levyt punnittiin.

## 6.2 Testauskohteet

Testikohteita määrittäessä pyrittiin valitsemaan kohteet, joissa kulutusta aiheuttavan materiaalin partikkelikoko olisi erilainen ja kulumisprosessi myös vaihteleva. Monipuolisella testauksella saataisiin valittua kuhunkin tilanteeseen parhaiten soveltuva kulutuslevymateriaali. Ensimmäisen suunnitelman mukaan koekohteita oli viisi, mutta seisakiaikataulun vuoksi jouduttiin karsimaan kohteita ja lopullisia tutkimuskohteita oli kaksi, pääseulan ylitteenpurkussupilo sekä myllyn purkussupilo.

### 6.2.1 Pääseulan ylitteen purkusuppilo

Pääseula sijaitsee prosessissa primäärimurskan jälkeen. Seula on kaksitasoinen, joka jakaa tuotteen ylitteeseen, välikokoon ja alitteeseen. Ylite ja alite siirtyy kuljettimella välivarastoon ja välikoko sekundäärimurskaukseen. Seula on merkitty liitteen 2 prosessikaaviossa numerolla 1.

Pääseulan ylitesuppilo on kokonaisuudessaan noin seitsemän metriä korkea. Suppilossa on autogeenisiä multahyllyjä, jotka hidastavat materiaalivirtaa ja vähentävät kivivirran iskuvoimaa suppiloa suojaaviin kulutuslevyihin.

Koekulutuslevyt sijoitettiin suppiloon kohtaan, johon materiaalivirta osui mahdollisimman tasaisesti. Levyjen sijoituskohdan pystyi arvioimaan vanhojen vuorauslevyjen kuluneesta pinnasta. Levyjen asennusta rajoitti hankalat asennustilat. Purkusuppilon tekninen piirros on liitteessä 3. Piirrookseen on merkitty levyjen sijoitus sekä materiaalivirta nuolilla.

Seulan ylitesuppiloon tulevan malmin raekoko on noin 120 - 150 mm. Kivien iskukulma on 30 - 40 astetta ja putoamiskorkeus levyihin nähden edelliseltä multahyllyltä noin 0,5 metriä. Kulumistapahtuma abrasiivista. Myös väsymiskulumista tapahtuu pitkällä ajan jaksolla.

### 6.2.2 1. Myllyn purkusuppilo

1. Mylly sijaitsee prosessissa välivaraston ja vaahdotuksen välissä. Myllyn syöte tulee kuljettimella välivarastolta myllyyn ja tuote purkautuu myllystä purkusuppilon kautta seulalle, jossa erotetaan alite hydrosykloneille, josta tuote lajitellaan edelleen vaahdotusprosessiin. Seulan ylite palautuu takaisin murskaus-jauhatusprosessiin. 1. myllyn sijainti prosessissa näkyy liitteessä 2 numerolla 2. Myllyn tekninen piirros liitteessä 4. Kuvaan merkitty levyjen sijoitus sekä materiaalivirta.

Koekulutuslevyt sijoitettiin myllystä purkautuvan materiaalivirran alle. Suppilon vuorauslevyt olivat kuluneet runsaasti suppilon toisella laidalla, joten levyt asennettiin kuluneelle laidalle. Suppilon toispuoleinen kuluminen johtuu myllyn pyörimisestä. Mylly heittää materiaalivirran pyörimisestä johtuen enimmäkseen toiseen laitaan.

Myllyn purkupään ja suppilossa olleiden koelevyjen korkeus ero oli noin 0,5 - 1 metriä ja materiaalivirran kulma suppiloon nähden noin 30 - 45 astetta. Kulma on hankala arvioida, sillä myllyn ollessa tuotannossa näkyvyys suppilon tarkistusluukusta on todella heikko.

Myllyn purkupäässä on arinal levyjä, jotka säätelevät tuotteen partikkelikokoa. Myllyssä on 6 arinal levyä, joiden purkuaukot ovat kooltaan 80\*130 mm ja 22 levyä, joiden koko on 15\*30 mm. Purkusuppilossa kulumista aiheuttava materiaali on lietettä, jossa seassa hieman isompaakin kiveä. Myllyn hienontama malmi purkautuu kovalla nopeudella purkusuppiloon. Kova nopeus lisää kitkaa ja sitä myötä kulumista suppilon sisäpinnoissa. Hienontuneen malmin ja veden sekoitus on todella abrasiivista. Normaalissa tuotannossa myllyllä ajetaan noin 10 000 tonnia malmia päivässä.

### 6.3 Kuluttavan malmin ominaisuudet

Malmin kuluttavuutta (abrasiivisuus) voidaan määrittää laboratoriotesteillä. Taulukossa 3 on määritelty Metson kivilaboratoriossa saatuja tuloksia. Rajana voidaan pitää arvoa 30, jonka alapuolella malmi on todella kovaa. Kevitsan malmin kovuus on keskimäärin metadoperidotitilla 27,5 ja oliviüpyroksiitilla 32,2. Kevitsan malmia voidaan pitää kovana, osittain jopa erittäin kovana. Kiven murskautuvuutta voidaan verrata kuluttavuuteen. Kun murskautuvuus arvo on suuri, kivi murskautuu helposti jolloin kuluminen on vähäisempää. Kun arvo on pieni, kivi ei murskaannu vaan aiheuttaa kulumista. Taulukossa 4 on esitetty malmin abrasiivisuus abraasioindeksillä. Kevitsan malmin abraasioindeksi on 0,34, eli malmi on asteikon mukaan hieman kuluttavaa.

Taulukko 3. Murskautuvuus [11]

	<b>Murskautuvuus %</b>
<b>Erittäin helppo</b>	50
<b>Helppo</b>	40 - 50
<b>Keskitasoa</b>	30 - 40
<b>Vaikea</b>	20 - 30
<b>Erittäin vaikea</b>	0 - 20

Taulukko 4. Abraasioindeksi [11]

	<b>Abraasioindeksi</b>
<b>Ei-kuluttava</b>	0 - 0,1
<b>Hieman kuluttava</b>	0,1 - 0,4
<b>Melko kuluttava</b>	0,4 - 0,6
<b>Kuluttava</b>	0,6 - 0,8
<b>Erittäin kuluttava</b>	0,8 -

## 7 TUTKIMUSTULOKSET

Tutkimustulokset ovat liitteissä 5 ja 6. Koelevyjen valmistajat käsitellään opinnäytetyössä nimettöminä materiaalitoimittajien pyynnöstä. Eri valmistajien tuotteet on merkitty taulukkoon aakkosilla.

### 7.1 1. Myllyn purkusuppilo

Myllyllä ajettiin malmia koeajan 22.1 - 27.3, aikana noin 570 000 tonnia. Liitteessä 5 esitetyissä testituloksissa koelevyjen kulumisen on esitetty massana ajettua tonnia kohti, sekä kokonaishäviö massana sekä prosentteina koeajan loputtua. Koepalan paksuuden häviö on myös esitetty millimetreinä.

Parhaiten testin mukaan pärjasi tuote B. Kun lasketaan tuotteen B levyjen 1 ja 2 kulumisen keskiarvo prosentteina, saadaan 18,5 %. Seuraavaksi tulee tuote E, joka kului 24,7%. Eniten kului tuote D, 41,1 %. Tuote D kului yli kaksi kertaa enemmän kuin tuote B. Taulukossa 5 on esitetty 1. myllyn testituloksia.

Taulukko 5. 1. myllyn koelevyjen yhden valmistajan kahden levyn kulumisen keskiarvo prosentteina

	<b>Materiaalihäviö prosentteina</b>
<b>Tuote A</b>	33,5
<b>Tuote B</b>	18,5
<b>Tuote C</b>	41,1
<b>Tuote D</b>	42,1
<b>Tuote E</b>	24,7

## 7.2 Pääseulan ylitteen purkusuppilo

Pääseulan ylitteen purkusuppilon läpi ajettuja tonneja ei voitu määrittää, joten tarkasteltavia määreitä ovat pelkästään materiaalihäviö massana sekä kulumisen millimetreinä. Liitteessä 6 on esitetty tutkimustulokset.

Samoin kuin myllyn testikohteessa, tuote B ja E pärjäsivät parhaiten. Tuote E:n levyjen materiaalihäviö keskiarvo prosentteina on 6,5 % ja tuote B:n 7,6 %. Huonoiten pärjasi tuote D, kulumisen 22,3 %. Koetuloksia esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Pääseulan purkusuppilon koelevyjen yhden valmistajan kahden levyn kulumisen keskiarvo

	<b>Materiaalihäviö prosentteina</b>
<b>Tuote A</b>	12,5
<b>Tuote B</b>	7,6
<b>Tuote C</b>	14,5
<b>Tuote D</b>	22,3
<b>Tuote E</b>	6,5



## 8 JATKOTOIMENPITEET

Jatkona tälle tutkimukselle voitaisiin laajentaa tutkimuskohteita myös alun perin suunniteltuihin kohteisiin, jotka jäivät aikataulullisista syistä tämän opinnäytetyön ulkopuolelle. Erityisen hyvä kohde olisi päämurskan holvi. Holvin kulutuslevyt ovat todella raskaan kulutuksen alaisia ja niiden kunnossapitomahdollisuudet ovat rajattuja. Esimerkiksi opinnäytetyön aikana, talvena 2013 – 2014, holvin aukaiseminen ja kulutuslevyjen tarkastaminen ei ollut mahdollista, koska holvissa oleva malmi oli jäänyt ja sen tyhjentäminen olisi vienyt aivan liian kauan. Yleisestikin holvin tarkastusväli on ajallisesti pitkä.

Mahdollisia jatkotutkimuksia varten tulisi tutkimusmenetelmää muuttaa kulutuslevyjen yleisen sijoituksen suhteen. Tämän tutkimuksen pohjalta huomattiin, että kun levyt ovat asennettuina varsinaisten vuorauslevyjen päälle, kuluvat levyt tavalla, joka ei vastaa tarkalleen oikeaa kulumistapahtumaa. Suurin osa tutkimuksen levyistä oli levyjä, joissa oli hitsattu kovapinnoite ja sen alla perusmateriaali. Näistä levyistä huomattiin, että kovapinnoite on kestänyt ja perusmateriaali kulunut. Tämä antaa hieman vääristyneen kuvan levyn kulumisesta. Toisaalta tilanne oli kaikille testiin osallistuneille levyille sama. Seuraavaa tutkimusta varten ehdotan, että levyt joko upotetaan samaan tasoon vuorauslevyjen kanssa, jolloin ei tule ulkonemaa, tai materiaalitoimittajilta pyydetään kohteessa käytettyjen mittojen mukaisia levyjä. Paras mahdollinen tilanne olisi, jos testikohteessa koelevyt sijoitettaisiin yhtä pitkiksi jaksoiksi ja sijoitettaisiin aina samaan paikkaan. Tällainen tutkimus vaatisi kuitenkin turhan pitkän ajan. Myös tutkimuksen seuraaminen pitkällä ajanjaksolla vaikeutuu sillä muutoksia voi tapahtua tutkimushenkilökunnassa sekä prosessissa.

Tutkimuksen pohjalta ehdottaisin, että esimerkiksi 1. myllyn purkusuppilosta saatujen tutkimustulosten perusteella otettaisiin käyttöön myllyjen purkusuppiloissa parhaiten menestynyt tuote. Jauhatusprosessissa on myös muitakin vastaavan kaltaisia kuluttavia kohteita joihin voitaisiin ottaa uusi materiaalikäyttöön. Uusi materiaali on varmasti kalliimpi kuin edellinen ja materiaalikustannukset nousevat, mutta mikäli seisakkiväliä voidaan pidentää, on se silti kannattavaa. Seisakit ovat taloudellisesti pelkkää tappiota.

Opinnäytetyönä kulutustutkimusta kannattaa harkita, sillä se on pitkäkestoinen, ja jotta tutkimustuloksia voidaan pitää paikkaansa pitävinä, myös tutkimusmenetelmät tulee olla

tarkkoja. Tutkimusmenetelmiä suunnitellessa kannattaa olla hyvissä ajoin yhteydessä materiaalitoimittajiin ja pyrkiä heidän kanssa yhteistyöhön. Materiaalitoimittajilla on paljon tietoa kulumisesta ja materiaaleista.

## 9 YHTEENVETO

Kuluminen on monikäsitteinen tapahtuma, mutta yksinkertaisimmillaan sitä voidaan pitää materiaalihäviämisenä kappaleen pinnasta. Kulumistapahtumien teoria tunnetaan hyvin, mutta johtuen jokaisen kulumistapahtuman erilaisuudesta yksiselitteistä matemaattista kaavaa ei ole pystytty johtamaan. Kulumisen tutkimiseen on kehitetty laboraatiokokeita. Kokeiden perusteella on materiaalivalinnat erilaisiin kuluttaviin ympäristöihin helpottunut. Kulumista on opittu myös vähentämään suunnittelulla.

Tämän opinnäytetyön tutkimuksella saatuja tuloksia voidaan pitää suuntaa antavina ja niihin tulee suhtautua varauksella. Tulokset olivat kuitenkin selkeät, eli hyvät materiaalit erottuivat huonommista. Tältä osin työtä voidaan pitää onnistuneena ja tuloksia voidaan käyttää seuraavien kulutuslevymateriaalien valinnassa apuna.

Opinnäytetyö osoittautui haastavammaksi kuin ajateltiin työtä aloittaessa. Työn alussa tutkimuskohteita oli useita, ja asetelma kokeiden aloittamiselle näytti helpolta. Kohteita jouduttiin kuitenkin karsimaan ja tältä osin epäonnistuttiin tavoitteisiin nähden. Myös testilevyjen asentaminen osoittautui haastavammaksi kuin oletettiin, johtuen kaivoksissa vallitsevista olosuhteista ja päälle painavista seisakkiaikatauluista.

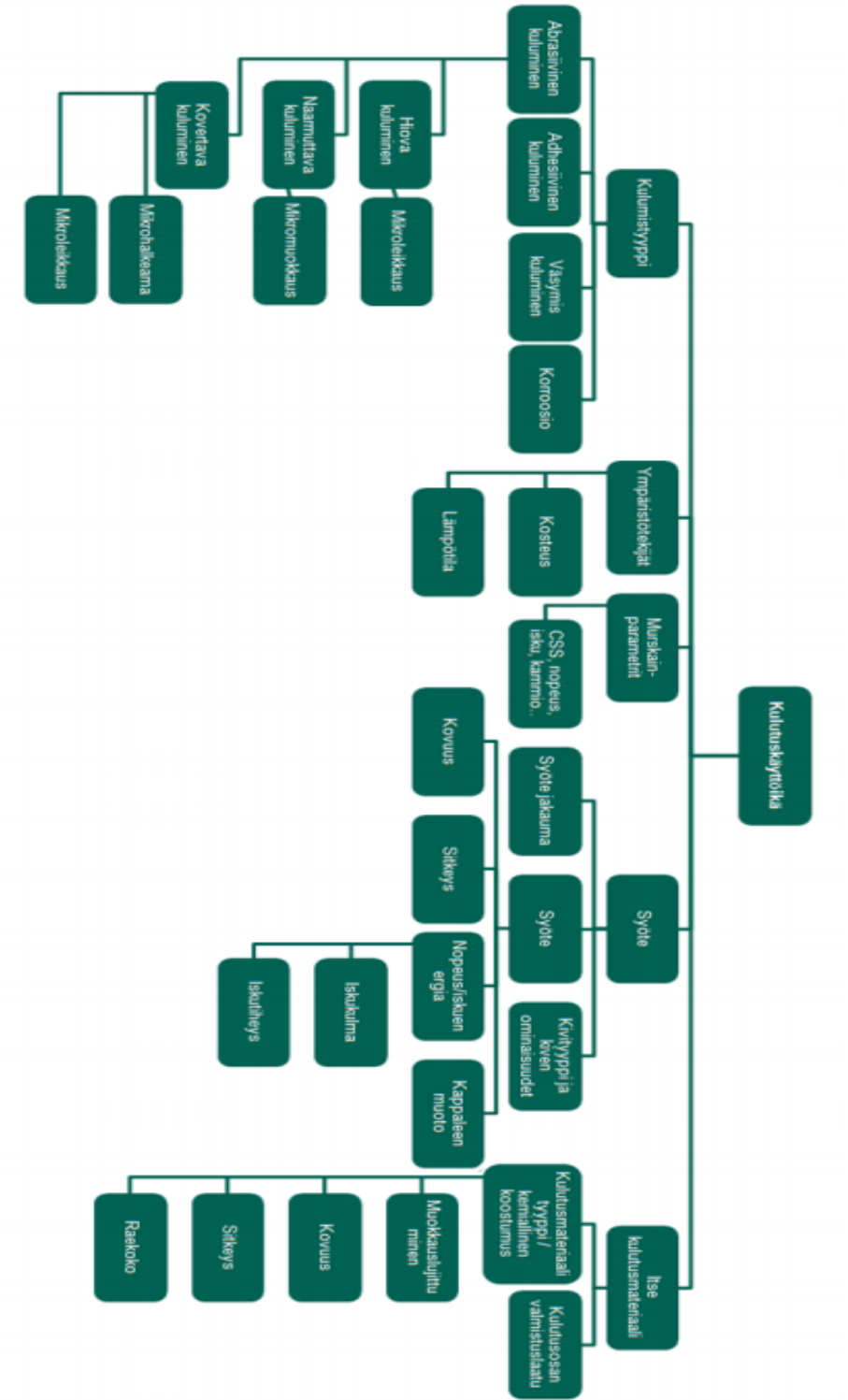
Mikäli suunnittelee kenttätestiä kulumisesta opinnäytetyönä, kannattaa pitää mielessä, että kenttätestaus on aikaa vievä projekti. Hyvä yhdistelmä olisi aloittaa kenttätestaus esimerkiksi jo aikaisemmin työharjoittelun merkeissä tai muuten osana projektikurssia tai vastaavaa kokonaisuutta. Näin kokeelle saataisiin lisää aikaa ja paremmat tulokset.

## LÄHTEET

1. Suomen Kaivosyrittäjät ry – Kaivosseminaari 2013 Kevitsan kaivos (haettu 3.4.2014)
2. Kivioja S, Kivivuori S, Salonen P,. Tribologia - kitka, kuluminen ja voitelu. 5. korj. p. ed. Helsinki: Otatieto; 2007.
3. Risto Parikka, Jussi Lehtonen, Kulumismekanismit ja niiden merkitys vierintäelimille, Raportti BVAL73-001074
4. Rautaruukin teräkset ääriolosuhteissa, 2000, rautaruukki
5. Lappalainen A, Lappalainen P, Hakapää A,. Kaivos- ja louhintatekniikka. 2. tark. p. ed. [Helsinki]: Kaivannaisteollisuus; 2011.
6. Pertti Lepola, Matti Makkonen Materiaalit ja niiden käyttö, WSOY-konetekniikka, 2000
7. Aho K,. Tribologisia perusasioita. [Helsinki]: Metalliteollisuuden kustannus; 1993.
8. Miilux-kulutusteräkset, käyttäjän käsikirja 2008
9. CORODUR, Verschleiss-Schutz GmbH, Panssarilevyt, Somotec, [www.somotec.fi](http://www.somotec.fi) (haettu 3.4.2014)
10. Ultralujat rakenne- ja kulutusteräkset - tärkeimmät ominaisuudet suunnittelulle. CASR-Steelpolis –verkostohanke (EAKR) Tekijät: Janne Lämsä, Henri Kiuru, Raahen Seudun Teknologiakeskus Oy, Oulun yliopisto
11. Metso, Kuluminen ja materiaalit, Kulutusosaopas

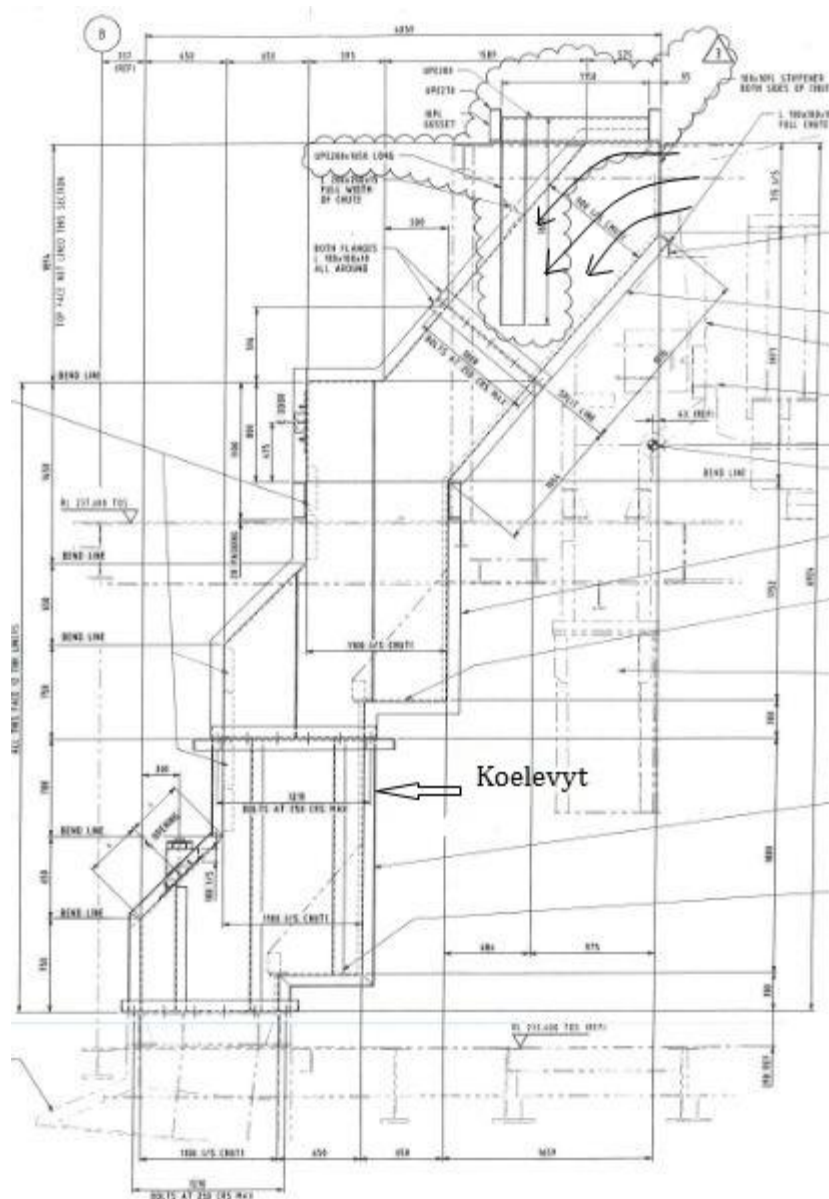
LIITTEET

Kulutuskäyttöikä

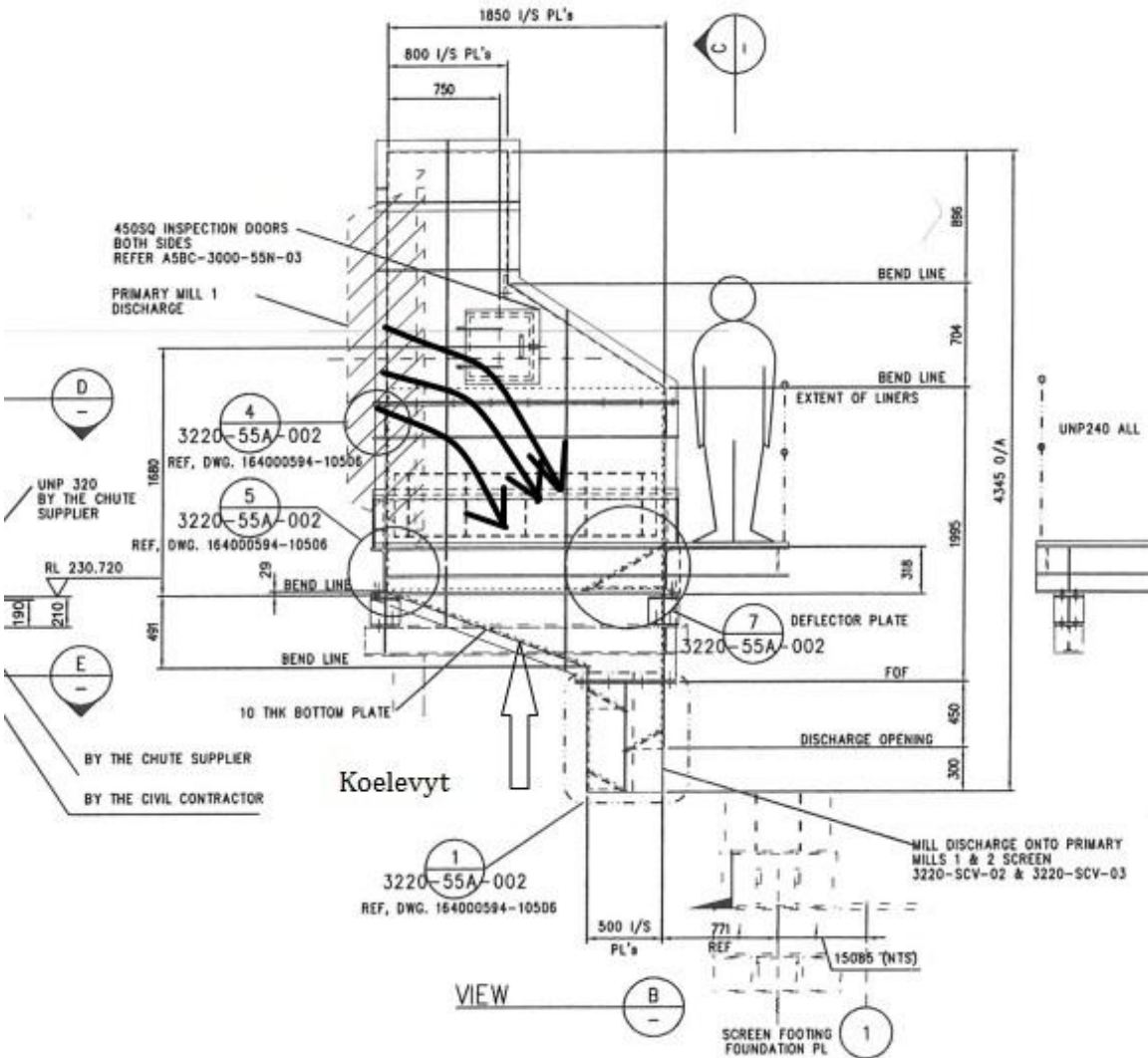




Koelevyt seulan ylitesuppilo



Koelevyt myllyn purkussuppilo





LIITE 5

Myllyn purkusuppilon koelevyjen tulokset

	Aloituspaino, g	Materiaalihäviö,g	Loppupaino, g	Kokonaishäviö,g	Materiaalihäviö, %	Häviö ug/ajetut tonnit	Paksuus alussa, mm	Paksuus lopussa, mm	Häviö, mm
<b>Tuote A levy 1</b>	1576,4	144	1106,7	469,7	29,8	813,4	24	19	5
<b>Tuote A levy 2</b>	1590	312,8	999,7	590,3	37,1	1 022,3	24	17	7
<b>Tuote B levy 1</b>	1357,7	137,9	1150	207,7	15,3	359,7	20	19	1
<b>Tuote B levy 2</b>	1315,6	91,9	1029,9	285,7	21,7	494,8	20	18	2
<b>Tuote C levy 1</b>	1357,8	367,1	818,4	539,4	39,7	934,1	20	14	6
<b>Tuote C levy 2</b>	1378,9	193,3	792,3	586,6	42,5	1 015,9	20	14	6
<b>Tuote D levy 1</b>	1465,7	435,9	740,4	725,3	49,5	1 256,1	20	15	5
<b>Tuote D levy 2</b>	1450,9	74,3	947	503,9	34,7	872,6	20	16	4
<b>Tuote E levy 1</b>	1444,1	176,2	1083,2	360,9	25,0	625,0	20	18	2
<b>Tuote E levy 2</b>	1452,7	168,2	1096,9	355,8	24,5	616,2	20	18	2

# LIITE 6

Pääseulan ylitteen koelevyjen tulokset

	Aloituspaino,g	Materiaalihäviö, g	Materiaalihäviö, %	Paksuus alussa, mm	Paksuus, lopussa, mm	Häviö, mm
<b>Tuote A levy 1</b>	1569,7	72,7	4,63	24	23	1
<b>Tuote A levy 2</b>	1585	324,3	20,46	24	21	3
<b>Tuote B levy 1</b>	1384,6	82,9	5,99	20	20	0
<b>Tuote B levy 2</b>	1326,8	123,3	9,29	20	20	0
<b>Tuote C levy 1</b>	1366	56,1	4,11	20	20	0
<b>Tuote C levy 2</b>	1353,2	338,2	24,99	20	17	3
<b>Tuote D levy 1</b>	1458,4	630,6	43,24	20	14	6
<b>Tuote D levy 2</b>	1458	19,6	1,34	20	20	0
<b>Tuote E levy 1</b>	1455,8	15,6	1,07	20	20	0
<b>Tuote E levy 2</b>	1471,2	174,8	11,88	20	20	0